



Reconstrucción histórica de glaciares en la Cordillera del Viento (Neuquén, Argentina)

D. Groch¹, M.G. Cogliati¹ y L.A. Bertani¹

¹ LANTEL - Departamento de Geografía/Facultad de Humanidades - Universidad Nacional del Comahue. marisa.cogliati@fahu.uncoma.edu.ar

Resumen

En las últimas décadas, los estudios hidrológicos han trascendido por el rol que desempeñan en la gestión de los recursos hídricos, para el desarrollo sostenible y la adaptación a los cambios de las condiciones climáticas y medioambientales. En referencia a ello, los glaciares ocupan un lugar destacado a nivel mundial como indicadores de cambios climáticos. Las condiciones naturales propicias para formación de glaciares, generalmente se dan en áreas con terreno complejo y difícil acceso, por lo que hay baja disponibilidad de datos. Ello propició, la utilización de sensores remotos para estudios glaciológicos alrededor del mundo.

En el norte de la Patagonia argentina, la Cordillera del Viento constituye una reserva de agua dulce, donde el estudio, monitoreo y protección de los cuerpos de hielo es necesaria. Este trabajo realizó la primera reconstrucción histórica de glaciares existentes en dicha región para el año 1963, para evaluar el estado de los cuerpos de hielo y sentar bases precedentes a la puesta en órbita de satélites de mediana/alta resolución. Se pretendió a su vez, una contribución a los diversos estudios glaciológicos que se están desarrollando actualmente en el territorio nacional. Se llevó a cabo un proceso de georreferenciación y ortorectificación de 38 fotografías aéreas analógicas de la Cordillera del Viento (120.0 km de longitud), con modernas técnicas fotogramétricas digitales. Posteriormente se analizaron parámetros morfométricos de los glaciares, siguiendo lineamientos definidos a nivel internacional.

La reconstrucción definió la existencia en 1963 de 151 glaciares (5.94 km²), con morfologías propias de cuerpos estacionarios o en retroceso. Se identificaron 139 glaciares (4.33 km²) con una superficie de 0.01 a 0.1 km², 10 glaciares (1.20 km²) de 0.1 a 0.2 km² y 2 glaciares (0.40 km²) mayores a 0.2 km². Fueron desestimados del estudio previamente 31 cuerpos al considerarse bancos de nieve, mientras que otros 128 cuerpos (0.61 km²) no se consideraron sistemáticamente al no respetar la superficie mínima glacial (mayor a 0.01 km²). Los cuerpos existentes en el Vn. Domuyo tampoco fueron considerados.

Palabras clave: reconstrucción, glaciares, fotografías aéreas, Neuquén.

Introducción

Desde hace décadas existe un interés creciente alrededor de mundo en los glaciares, sobre todo por su importancia como indicadores de cambios climáticos. Los mismos, constituyen una reserva de agua dulce fundamental para la supervivencia humana, al generar aportes permanentes a los cursos de agua superficiales. En el norte de la provincia del Neuquén, específicamente en la Cordillera del Viento, se conjugaron las condiciones naturales para la formación de glaciares.

Los estudios glaciológicos fueron ampliamente desarrollados gracias a la utilización de sensores remotos. Específicamente, los progresos en fotogrametría permitieron llevar a cabo correcciones geométricas de fotografías aéreas históricas, a partir de una ortorectificación digital, pudiendo así realizar mediciones espaciales precisas. La técnica propuesta en este trabajo fue originalmente desarrollada para imágenes satelitales por Leprince y otros (2007b). Leprince y otros (2007a) y Ayoub y otros (2009a) extendieron la técnica a las fotografías aéreas, para medir las deformaciones del suelo debido a los sismos, entre los datos históricos dados por las fotografías aéreas y las imágenes satelitales actuales.

El área de estudio considerada para la aplicación de técnicas fotogramétricas refiere a la Cordillera del Viento, en el extremo Noroeste de la provincia del Neuquén, entre los $36^{\circ}06' - 37^{\circ}22'$ Sur y $70^{\circ}21' - 70^{\circ}40'$ Oeste (Figura 1). La misma se caracteriza por poseer una marcada amplitud altimétrica, que oscila entre los 876.0 y los 4,709.0 msnm. En la zona sólo fueron desarrollados los trabajos glaciológicos de Falaschi (2015) y Falaschi y otros (2016).

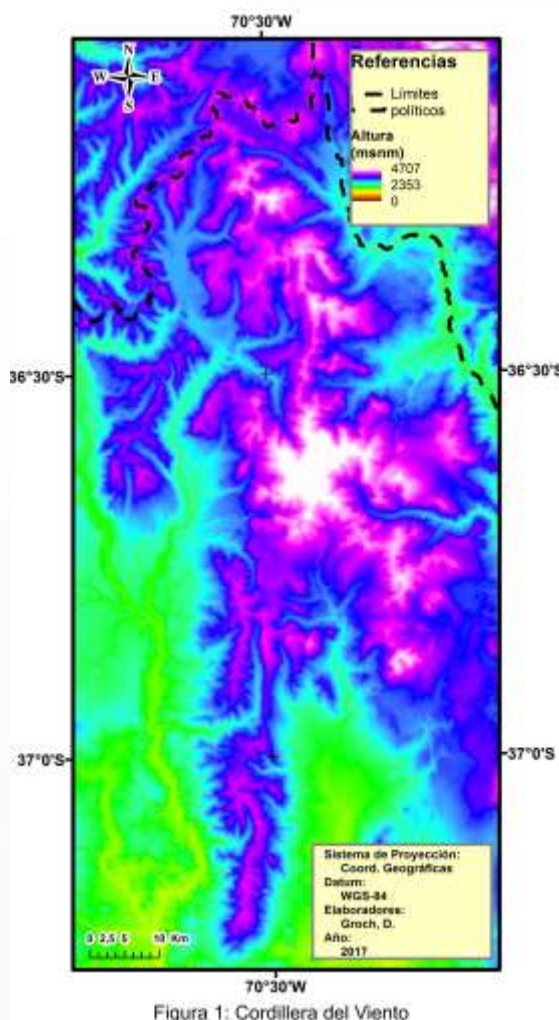


Figura 1: Cordillera del Viento

Materiales y métodos

Este estudio fue desarrollado a partir de fotografías aéreas históricas de 1963 (Tabla 1). Las mismas se obtuvieron por el Instituto Geográfico Militar (actual Instituto Geográfico Nacional) en el marco del “Plan de Vuelo Cordillerano”. Fueron realizados múltiples vuelos fotogramétricos que cubrieron la totalidad del norte neuquino,

cubriendo la totalidad de la Cordillera del Viento en dirección Sur-Norte. Fueron seleccionadas para su utilización 38 fotografías.

Tabla 1. Características de las fotografías aéreas analógicas.

Fecha	Febrero de 1963
Escala aproximada	1:50.000
Distancia focal	152,12 mm
Tipo de sensor	Óptico
Color	Pancromático (blanco y negro)
Tamaño	23 x 23 cm
Inclinación de la cámara	Vertical
Tipo de cámara	WILD R.C. 8

En primer lugar, mediante la utilización de un escáner convencional, las fotografías aéreas fueron sometidas a un proceso de digitalización en escala de grises, con una resolución radiométrica de 8 bits y una resolución geométrica de 169.3 $\mu\text{m}/\text{pixel}$. Posteriormente, las fotografías fueron sometidas a un proceso de ortorectificación, mediante la utilización del módulo COSI-Corr (Co-registration of Optically Sensed Images and Correlation) para ENVI 5.0 (ENvironment for Visualizing Images). Dicho proceso permitió que las mismas posean una dimensión espacial, aprovechando su alta resolución espacial y evitando las distorsiones debido al relieve propias de la proyección central con la cual fueron obtenidas en los diversos vuelos fotogramétricos (Figura 2).

La ortorectificación fue llevada a cabo mediante técnicas fotogramétricas propuestas por Ayoub y otros (2008, 2009a,b). Fue obtenida la Orientación Interior (OI) de la cámara, para representar la geometría y distorsiones de la misma. Para ello se seleccionaron las coordenadas de los puntos fiduciales, la resolución del escáner seleccionada y la distancia focal (sacada del informe de calibración de los vuelos). Luego se obtuvo la Orientación Exterior (OE), para describir la posición y orientación angular de la cámara. Debieron generarse Puntos de Control Terrestre (GCPs), mediante la utilización de la banda 8 (resolución espacial=15 m) de dos imágenes satelitales LANDSAT 7 ETM+, para establecer coordenadas espaciales a la imagen escaneada. Fueron seleccionados entre 5 y 10 puntos, con un RMSE total inferior a 1. También se utilizó el Modelo Digital de Elevación (MDE) SRTM-3 (resolución espacial=90 m) para asignar la variable altimétrica. Los GCPs fueron optimizados posteriormente con la OI. Por

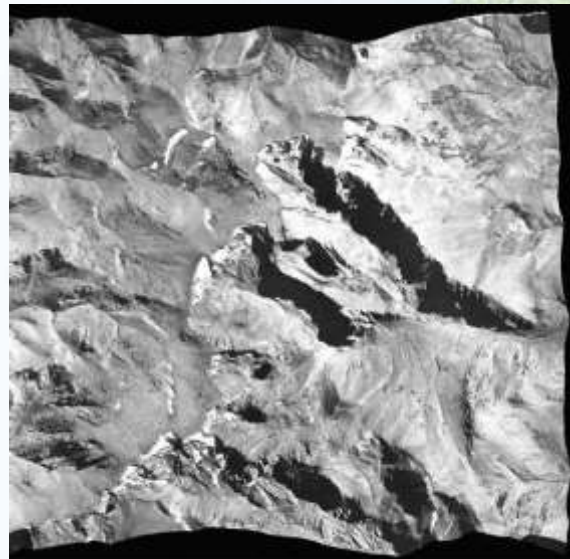


Figura 2: Fotografía aérea ortorectificada.

último, se realizó la ortorectificación teniendo en cuenta la OI, la OE, los GCPs optimizados, la imagen satelital, el MDE y la fotografía escaneada. Simultáneamente, gracias al mapa de matrices generado en la ortorectificación, se resampleó la imagen escaneada originalmente, para corregir las distorsiones debido al relieve de forma óptima.

Las fotografías aéreas obtuvieron finalmente una proyección UTM (Zona 19 Sur), un Datum WSG-84 y una resolución espacial de 1.0 m. Efectuada dicho procedimiento, se realizó una digitalización manual de los glaciares existentes para el año 1963 a través del Sistema de Información Geográfica QGIS. El procedimiento permitió estimar parámetros morfométricos de los mismos. Cabe destacar que los glaciares del Vn. Domuyo no fueron considerados, debido a que las escenas en dicho lugar fueron captadas durante la temporada invernal.

Resultados y discusión

La reconstrucción histórica llevada a cabo en este estudio demostró la existencia de 151 glaciares en la Cordillera del Viento para el año 1963. Los cuerpos de hielo dieron cuenta una superficie total de 5.94 km².

La Figura 3 presentó la distribución de los glaciares según su cantidad y superficie. Se identificaron 139 glaciares (4.33 km²) con una superficie de 0.01 a 0.1 km², 10 (1.20 km²) de 0.1 a 0.2 km² y 2 (0.40 km²) mayores a 0.2 km². Se destacó una predominancia de los cuerpos de hielo de 0.01 a 0.02 km² (59), con una superficie acumulada de 0.85 km², seguido de 0.02 a 0.03 km² (32), con una superficie acumulada 0.82 km². Los glaciares con una superficie entre 0.03 y 0.20 km² oscilaron entre 1 y 11 cuerpos cada 0.1 km², con superficies acumuladas entre 0.15 y 0.50 km².

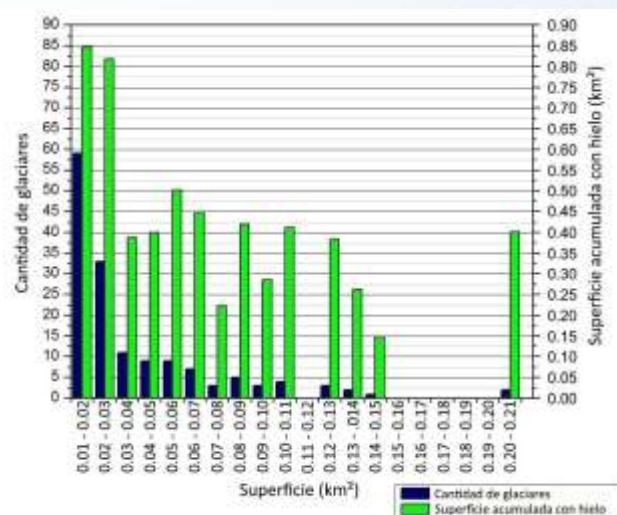


Figura 3: Cantidad y superficie de los glaciares existentes en 1963

Conclusiones

Las técnicas fotogramétricas desarrolladas en los últimos años, permitieron generar una ortorectificación digital óptima de las fotografías aéreas con niveles aceptables de precisión. La aplicación en el campo de la glaciología proporcionó una extensión de los registros previos al lanzamiento de satélites de mediana/alta resolución.

La reconstrucción histórica llevada a cabo en este estudio indicó la existencia de 151 glaciares en la Cordillera del Viento para el año 1963, cubriendo una superficie de 5.94 km². La distribución de los cuerpos de hielo, destacó que el 60.2 % posee una superficie inferior a los 0.03 km² (1.67 km²). La predominancia de estos cuerpos debe



ser tenida en cuenta en los análisis hidrográficos, debido a la importancia que poseen en su conjunto.

Agradecimientos

Se agradece el aporte financiero de Universidad Nacional del Comahue y las contribuciones de la Dra. Andrea Coronato.

Referencias

- Ayoub F., S. Leprince and J.P. Avouac. 2008. Measuring Coseismic Ground Deformation from Aerial Photogr. Using COSI-Corr. In: Leprince, S. 2008. Monitoring Earth Surface Dynamics with Optical Imagery. PhD thesis, California Inst of Tech., Pasadena, USA.
- Ayoub F., S. Leprince and J.P. Avouac. 2009a. Co-registration and correlation of aerial photographs for ground deformation measurements. ISPRS Jour. of Photogrammetry and Remote Sensing, 64 (6), 551-560.
- Ayoub F., S. Leprince and L. Keene. 2009b. User's Guide to COSI-CORR Co-registration of Optically Sensed Images and Correlation. 1-38. California Inst of Tech, USA.
- Falaschi, D. 2015. Identificación, caracterización y dinámica de las geoformas glaciales y periglaciales en la Cordillera de los Andes a través de sensores remotos. Tesis Doctoral. UNLP. La Plata, Buenos Aires, Argentina. 343 pp.
- Falaschi, D., M. Masiokas, T. Tadono, and F. Couvreur. 2016. ALOS-derived glacier and rock glacier inventory of the Vn Domuyo region, southernmost Central Andes, Argentina. Zeitschrift für Geomorphologie. Gebr. Borntraeger Verlagsbuchhandlung, Stuttgart, Germany. 1-14.
- Leprince, S., F. Ayoub, Y. Klinger and J.P. Avouac. 2007a. Co-Registration of Optically Sensed Images and Correlation (COSI-Corr): an Oper. Methodology for Ground Deformation Measur. IEEE Inter. Geosc. and Remote Sens. Symp. Barcelona, España.
- Leprince, S., S. Barbot, F. Ayoub, and J.P. Avouac. 2007b. Automatic and Precise Orthorectification, Correg, and Subpixel Corr. of Satellite Images, Application to Ground Deformation Measurements. IEEE Trans. on Geosc. and Remote Sens, 45, 6, 1529-1558.